

## **Verfahren zum Abbremsen eines Elektromotors und elektrischer Antrieb**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abbremsen oder Anhalten eines mit Gleichstrom betreibbaren Elektromotors, insbesondere eines bürstenlosen Gleichstrommotors, bei Vorliegen eines Fehlers des Elektromotors oder damit verbundener Einheiten.

Die Erfindung betrifft ebenso einen elektrischen Antrieb für eine Überlagerungslenkung für ein Kraftfahrzeug oder für eine elektromechanische Bremse (EMB), der einen mit Gleichstrom betreibbaren Elektromotor, insbesondere einen bürstenlosen Gleichstrommotor, eine elektronische Steuer- und Regelungseinheit und eine Leistungselektronikeinheit zur Ansteuerung des Elektromotors aufweist.

Unter dem Begriff "Überlagerungslenkung" sind sämtliche Lenkungen zu verstehen, bei denen ein vom Fahrer eingestellter Lenkwinkel oder ein eingestelltes Lenkmoment mit einem zusätzlichen Winkel oder einem zusätzlichem Moment überlagert werden kann, insbesondere zur Erhöhung der Fahrstabilität bei der Lenkwinkelüberlagerung und zur Fahrerassistenz, z. B. zur Spurführung, bei der Momentenüberlagerung.

Unter dem Begriff "elektromechanische Bremse" sind sämtliche Bremsanlagen zu verstehen, bei denen eine Bremskraft mit einem elektromechanischen Aktuator, insbesondere einen Elektromotor mit einem angeschlossenen Getriebe, erzeugt wird. Die Bremskraft wird über einen

Bremsreibbelag auf eine Bremsscheibe oder eine Bremstrommel übertragen, zwecks Verzögerung des Fahrzeugs.

Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm.

Ein gezieltes und sicheres Abbremsen oder Anhalten eines Elektromotors wird für viele Anwendungsfälle gefordert. Insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen, bei denen der Elektromotor ein Aktuator für eine sicherheitskritische Funktion darstellt, wie beispielsweise in einem Antrieb eines Lenkungssystems für ein Fahrzeug oder für eine elektromechanische Bremse (EMB), ist eine sichere Fehlererhebungsstrategie zwingend notwendig.

Bürstenlose Elektromotoren bzw. elektronisch kommutierte Elektromotoren gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung. Sie ersetzen insbesondere bürstenbehaftete Elektromotoren in derartigen technischen Anwendungen als Aktuatoren. Die Vorteile gegenüber bürstenbehafteten Motoren liegen vor allem im geringen Wartungsaufwand durch Wegfall der Verschleiß unterworfenen Kommutatorbürsten und des prinzipiell höheren Wirkungsgrades durch Wegfall der durch die Bürstenübergangswiderstände hervorgerufenen Kommutatorverluste. Darüber hinaus lassen sich in Verbindung mit „intelligenten“ elektronischen Kommutierungseinrichtungen Funktionen realisieren, die mit bürstenbehafteten Motoren nicht möglich oder nur mit einem erheblichen mechanischen Mehraufwand zu erreichen sind.

Da bei bürstenlosen Elektromotoren die Funktionen mechanischer, inherent weitgehend sicherer und zuverlässiger Komponenten, in diesem Fall die Kommutatorbürsten eines Kommutatormotors, durch mechatronische Baugruppen ersetzt werden, muss durch

geeignete Maßnahmen die Ausfallsicherheit sichergestellt werden. Bedingt durch die relativ hohe Komplexität der Kommutierungselektronik bürstenloser Motoren ergeben sich auch relativ viele Fehlermöglichkeiten.

Hinzu kommt, dass bei vielen sicherheitskritischen Systemen oft die Motordrehzahl bzw. die Motorlage mit einem Drehzahlsensor bzw. einem Lagesensor gemessen wird und zur Regelung des Systems verwendet wird. Dann ist auch eine bestimmte Fehlerbehandlungsstrategie bei Vorliegen eines Fehlers in der Ermittlung von Motordrehzahl bzw. Motorlage notwendig.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das ein sicheres Abbremsen oder Anhalten insbesondere bürstenloser Gleichstrommotoren ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass bei dem Verfahren das Vorliegen bestimmter Fehlerzustände überprüft wird, und dass der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise eine dem erkannten, bestimmten Fehlerzustand angepasste Ansteuerung des Elektromotors durchgeführt wird unter Berücksichtigung einer maximalen Belastbarkeit einer mit dem Elektromotor verbundenen elektronischen Ansteuerungseinheit.

Durch die Erfindung ergibt sich insbesondere der Vorteil, dass ein möglichst rasches Abbremsen erfolgt, ohne die

elektronische Ansteuerungseinheit, d. h. die Leistungselektronik, zu überlasten.

Das Verfahren wird vorzugsweise im Fehlerfall zum Abbremsen von elektronisch kommutierten, dreiphasigen, permanenterregten Synchronmotoren SM eingesetzt. Diese bestehen aus den Hauptbaugruppen Ständer (Stator) mit einer Ständerwicklung und Läufer (Rotor) und weisen eine Regeleinheit, vorzugsweise eine PWM-Regelung auf, die eine geeignete Bestromung der Ständerwicklung ermittelt und über Leistungstreiber einregelt.

Erfindungsgemäß ist es bei dem Verfahren vorgesehen, dass überprüft wird, ob (ein) dem Elektromotor, vorzugsweise ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor mit einer PWM-Regelung, zugeführte(r) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, dass in dem Fall, wenn der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelt wurde(n), der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss stromgeregelt, insbesondere unter Anlegen eines Stromzeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme nicht ermittelbar ist/sind, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig oder zeitgesteuert erzeugt wird.

Es ist nach der Erfindung bei dem Verfahren vorgesehen, dass überprüft wird, ob eine aktuelle Drehzahl des Elektromotors, vorzugsweise eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors mit einer PWM-Regelung, ermittelbar ist, dass in dem Fall, wenn die aktuelle Drehzahl ermittelt

wurde, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig von der aktuellen Drehzahl, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn die aktuelle Drehzahl des Elektromotors nicht ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert erzeugt wird.

Nach der Erfindung ist es bei dem Verfahren vorgesehen, dass überprüft wird, ob eine Drehzahl des Elektromotors, vorzugsweise eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors mit einer PWM-Regelung, zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelbar ist, dass in dem Fall, wenn die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelt wurde, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers nicht ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von einer Maximaldrehzahl des Elektromotors, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird.

Die Aufgabe wird auch durch einen elektrischer Antrieb für eine Überlagerungslenkung für ein Kraftfahrzeug gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die elektronische Steuer-

und Regelungseinheit ein Erkennungsmittel aufweist, zum Erkennen eines Fehlers des Elektromotors und/oder einer damit verbundenen elektronischen Einheit, und dass die elektronische Steuer- und Regelungseinheit ein Abbrems- oder Anhaltemittel aufweist, zum Abbremsen des Elektromotors, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde, in dem das Abbrems- und Anhaltemittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen Kurzschluss in Abhängigkeit von dem erkannten, bestimmten Fehlerzustand zu erzeugen unter Berücksichtigung einer maximalen Belastbarkeit der Leistungselektronik.

Durch die Erfindung ergibt sich insbesondere der Vorteil, dass ein möglichst rasches Abbremsen erfolgt, ohne die elektronische Ansteuerungseinheit, d. h. die Leistungselektronik, zu überlasten.

Erfindungsgemäß ist es bei dem elektrischen Antrieb vorgesehen, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das Erkennungsmittel eine Ansteuerstromermittlung aufweist, zur Ermittlung des dem Gleichstrommotor zugeführten Ansteuerstroms bzw. der Ansteuerströme, dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn (ein) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das Anhalte- und Ansteuerungsmittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen Kurzschluss stromgeregelt in Abhängigkeit von dem(n) ermittelten Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme, insbesondere unter Anlegen eines Stromzeigers über der PWM, zu erzeugen,



und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn kein(e) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig in Abhängigkeit von der Gleichstrommotor-Drehzahl oder zeitgesteuert erzeugt wird.

Vorteilhaft wird die Drehzahl und die genaue Winkelposition bzw. Phasenlage des Rotors durch eine (absolute) Positionsmessung ermittelt. Das Absolutmeßsystem ist z.B. auf einer Welle, auf welche der Rotor sitzt, angebracht. Es gibt zu jedem Zeitpunkt die genaue Winkellage des Rotors zum Stator an. Als Absolutmeßsystem können beispielsweise sogenannte Resolver, wie Induktionsmesser oder drehbare Transformatoren, oder Hall-Sensoren, eingesetzt werden.

Wenn Drehzahl und Phasenlage bekannt sind, dann können die Phasenströme auch auf Basis von Strangspannungen unter Berücksichtigung von induzierten, drehzahlproportionalen Gegenspannungen geschätzt werden und eine Regelung zum Abbremsen des Elektromotors kann auf Grundlage der geschätzten Phasenströme erfolgen.

Es ist nach der Erfindung bei dem elektrischen Antrieb vorgesehen, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das Erkennungsmittel eine Motordrehzahlermittlung aufweist, zur Ermittlung der aktuellen Drehzahl des Gleichstrommotors, dass der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das Anhalte- und Ansteuerungsmittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen

Kurzschluss drehzahlabhängig in Abhängigkeit von der aktuellen Drehzahl, insbesondere durch Anlegen eines Spannungszeigers über der PWM, zu erzeugen, und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn keine aktuelle Motordrehzahl ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert erzeugt wird.

Nach der Erfindung ist es bei dem elektrischen Antrieb vorgesehen, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das Erkennungsmittel eine Motordrehzahlermittlung aufweist, zur Ermittlung der Drehzahl des Gleichstrommotors zum Zeitpunkt des Fehlers, dass der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das Anhalte- und Ansteuerungsmittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers, insbesondere durch Anlegen eines Spannungszeigers über der PWM, zu erzeugen, und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn keine Motordrehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der Maximaldrehzahl des Gleichstrommotors erzeugt wird.

Erfindungsgemäß ist es bei dem elektrischen Antrieb vorgesehen, dass zusätzlich eine elektronische Steuer- und Regelungshilfseinheit vorgesehen ist, die ein Abbrems- oder Anhaltehilfsmittel aufweist, zum Abbremsen des



Elektromotors, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde, der in der elektronischen Steuer- und Regelungseinheit vorliegt und der eine Ansteuerung der Leistungselektronik durch das Anhalte- und Ansteuerungsmittel nicht sicher gewährleistet.

Die Aufgabe wird auch durch ein Computerprogramm gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es Programmschritte aufweist zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung.

Es ist nach der Erfindung vorgesehen, dass das Verfahren und die Vorrichtung insbesondere für bürstenlose Elektromotoren im Kraftfahrzeugbereich für Lenkungen, wie bei Steer-by-Wire-Systemen oder bei elektrischen Lenkungsunterstützungssystemen, wie Überlagerungslenkungen, oder für Bremssysteme, wie Brake-by-Wire-Systeme, eingesetzt wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann ein Abbremsen erzielt werden, um eine nicht erwünschten Bewegung des Aktors des Lenksystems oder Brake-by-Wire-Systems zu vermeiden.

Ferner kann ein „elektronisches“ Festklemmen des Rotors des Motors durchgeführt werden, wobei der Elektromotor in einer bestimmten Lage festgehalten wird.

Danach kann auch eine mechanische Verriegelung durch eine Verriegelungseinheit durchgeführt werden. Ein Vorteil des Verfahrens und des Antriebs liegt darin begründet, dass ein Festhalten des Motors -gegenüber der mechanischen Verriegelung- sehr rasch erfolgen kann, wodurch eine unerwünschte Aktuatorbewegung sicher vermieden wird.

Für sicherheitskritische Steer-by-Wire-Systems oder Brake-by-Wire-Systems ist der den Aktuator antreibende Elektromotor und deren Ansteuerung vorzugsweise redundant ausgeführt. Nach einem erkannten Fehler werden Funktionen des fehlerbehafteten Elektromotors dann ebenso durch die redundanten Systeme gewährleistet.

Die Erfindung wird nun anhand von Abbildungen (Fig. 1 bis Fig. 3) und anhand eines Ausführungsbeispiels in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Die Fig. 1 zeigt eine Ausführung einer erfindungsgemäßen Fehlerbehandlungs-Gesamtstrategie für einen elektronisch kommutierter Gleichstrommotor mit einer PWM-Regelung in einer schematischen Übersicht.

Fig. 2 zeigt eine Auftragung des Aussteuergrads  $A_{PWM}$  gegen die Drehzahl  $n$  des Motors für ein Abbremsvorgang des Motors.

Fig. 3 zeigt eine Auftragung des Ansteuerstroms  $I$  gegen die Drehzahl  $n$  des Motors für den Abbremsvorgang des Motors.

Nach dem Start 1 der Fehlerbehandlung wird in einem ersten Schritt 2 geprüft, ob der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme gemessen werden können.

In dem Fall, wenn der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelt wurde(n) 3, wird der Elektromotor abgebremst, in dem in den Motorphasen über PWM ein Kurzschluss stromgeregelt erzeugt wird 4. Das geschieht unter Anlegen eines Stromzeigers über die PWM und stromgeregelter

Aussteuerung 5. Nach Abbremsung des Motors bis zum Stillstand ist die Fehlerbehandlung beendet 6.

Wenn der/die bzw. Ansteuerströme nicht ermittelbar ist/sind 7, wird in einem weiteren Abfrageschritt 8 überprüft, ob eine (aktuelle) Drehzahl des Elektromotors gemessen werden kann.

In dem Fall, wenn die aktuelle Drehzahl ermittelt wurde 9, wird der Elektromotor abgebremst, in dem in den Motorphasen ein Kurzschluss drehzahlabhängig von der aktuellen Drehzahl erzeugt wird 10, unter Anlegen eines Spannungszeigers über die PWM, wobei der Aussteuergrad hier drehzahlabhängig eingestellt wird. Nach Abbremsung des Motors bis zum Stillstand ist die Fehlerbehandlung ebenso beendet 6.

Wenn die aktuelle Drehzahl des Elektromotors nicht ermittelbar ist 12, dann wird der Elektromotor abgebremst, in dem in den Motorphasen ein Kurzschluss zeitgesteuert erzeugt wird.

Hierzu wird in einem weiteren Abfrageschritt 13 ermittelt, ob die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers bekannt ist.

Ist dies der Fall, dann wird der Elektromotor abgebremst, in dem in den Motorphasen ein Kurzschluss zeitgesteuert, zugeschnitten auf ein Abbremsen aus dieser Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers, erzeugt wird über die PWM 14. Dazu wird ein Spannungszeigers über die PWM angelegt. Der Aussteuergrad wird dabei zeitgesteuert nach Maßgabe der Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers eingestellt 15. Nach Abbremsung des Motors bis zum Stillstand ist die Fehlerbehandlung ebenso beendet 6.

In dem anderen Fall, wenn die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers nicht ermittelbar ist 16, wird der Elektromotor nur abgebremst, in dem in den Motorphasen ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der (bekannten) Maximaldrehzahl des Elektromotors über die PWM erzeugt wird 17, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über die PWM 18. Nach Abbremsung des Motors bis zum Stillstand ist die Fehlerbehandlung ebenso beendet 6.

Das Verfahren wird zum Abbremsen eines Elektromotors bis zum Stillstand verwendet, der beispielsweise als Aktuator einer Antriebseinheit einer aktiven Überlagerungslenkung (ESAS) oder einer elektromechanischen Bremse (EMB) dient. Um in einem fehlerhaften Betrieb das unkontrollierte Einstellen eines ungewünschten Lenkwinkels zu vermeiden, muss die Antriebseinheit des ESAS-Systems bei einem erkannten Fehlerfall innerhalb möglichst kurzer Zeit abgebremst und mechanisch verriegelt werden.

Da insbesondere ein Fehler in der Motorlagesensierung oder in der elektronischen Steuer- und Regelungseinheit (Ansteuer-CPU) zur fehlerhaften Einstellung eines ungewünschten Lenkwinkels führen kann, ist es vorgesehen, die Bremsfunktion auch ohne diese Bauteile zu realisieren.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird dazu im Fehlerfall die Ansteuerung der mit dem Elektromotor verbundenen elektronischen Ansteuerungseinheit, d. h. die Leistungselektronik (Wechselrichtertransistoren oder Endstufentransistoren) von einem unabhängigen Bauteil, eine elektronische Steuer- und Regelungshilfseinheit, übernommen. Dieses Bauteil steuert den elektrischen Abbremsvorgang in mehreren Schritten.

Der Abbremsvorgang wird durchgeführt, in dem in einem Betriebszustand die Motorphasen unter Verwendung der Endstufentransistoren untereinander kurzgeschlossen werden. Durch die Drehung des Motors wird eine Spannung induziert, die wiederum einen Strom treibt, der ein Bremsmoment auf die Motorwelle bringt. Zur Begrenzung des Bremsstromes und zum Schutz der Transistoren erfolgt deren Ansteuerung mit einem pulsweitenmodulierten, angepassten Signal (PWM-Regelung) (siehe Fig. 2).

Bei sinkender Drehzahl  $n$  verringert sich auch die induzierte Spannung, weshalb der Aussteuergrad  $A_{\text{PWM}}$  erhöht werden muss von einer ersten Drehzahl  $n_1$  und einem ersten Aussteuergrad  $A_{\text{PWM}}$ , hier 10% (bei Beginn des Abbremsenvorgangs) bis zu einem maximalen Wert  $A_{\text{PWM}} = 100\%$ , bei der eine zweite Drehzahl  $n_2$  anliegt und wobei der maximale Wert  $A_{\text{PWM}} = 100\%$  beibehalten wird, bis zum Stillstand ( $n = 0$ ).

In der Fig. 3 ist der dazu korrespondierende Verlauf des Ansteuerstroms gezeigt, der bis zu einer unteren Drehzahl  $n_2$  auf einen Wert  $I_{\text{max}}$  begrenzt wird, damit die Leistungselektronik nicht überlastet wird.

Soll bzw. muss auf die Messung von Strom und Drehzahl verzichtet werden, so erfolgt die Auswahl des Aussteuergrades zeitgesteuert. Dabei wird die Ansteuerung zu Grunde gelegt, die beim Abbremsen von der maximal möglichen Drehzahl im Fehlerfall notwendig wäre. Dadurch können gleichzeitig maximal mögliche Bremszeiten und Fehlerwinkel festgelegt werden. Der Ansteuergrad beträgt am Ende dieses Betriebszustandes 100 %. Dabei kann die Last auf verschiedene Endstufentransistoren, insbesondere

jeweils die High- und Lowside-Schalter, verteilt werden, in dem diese wechselweise einschaltet werden.

Es ist vorteilhaft vorgesehen, dass die Auswahl der beteiligten Schalter und Motorphasen außerdem von der Auswertung entsprechender Fehlersignale abhängt.

Beim Erreichen einer unteren Drehzahl bzw. nach Verstreichen einer entsprechenden Zeit ist der sich einstellende Bremsstrom so gering, dass er nur noch ein sehr geringes Bremsmoment aufbringt. In dieser Phase des Bremsvorganges kann eine Spannung an die Wicklungen angelegt werden, die einen winkelfesten Motorstrom treibt. Dieser wirkt sich dann wie eine Art "elektrische Raste" aus und kann so ein zusätzliches Bremsmoment aufbringen. Die Höhe der entsprechenden Spannung wird ebenfalls durch Pulsweitenmodulation PWM eingestellt und zustandsabhängig oder zeitabhängig erhöht.

Bei dem Bauteil zur Ansteuerung des Bremsvorganges kann es sich in einfachsten Fall um einen relativ kleinen Logikbaustein handeln. Bei entsprechender Erhöhung der Rechenleistung können dann zusätzlich Sensorsignale eingelesen, Modelle berechnet und Fehlerüberwachungen selbstständig durchgeführt werden. Als letzte Rückfallebene wird vorteilhaft jedoch immer das beschriebene Verfahren eingesetzt.

Zusammenfassend ergeben sich folgenden vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung:

Bei Erkennung eines Fehlers wird die aktuelle Drehbewegung des Motors sowohl durch mechanische, als auch durch elektrische Maßnahmen bis zum Stillstand gebremst.



Die elektrische Bremsung kann von einem unabhängigen Baustein eingeleitet und gesteuert werden.

Der elektrische Bremsvorgang erfolgt in mindestens zwei Betriebszuständen, wobei im ersten Betriebszustand nur die induzierte Spannung zur Einprägung eines Stromes genutzt wird und im zweiten Zustand eine zusätzliche Spannung angelegt wird.

Der Wechsel zwischen den Zuständen und die Aussteuergrade der Endstufenschalter kann zeitgesteuert oder abhängig von Sensordaten erfolgen.

Bei Vorliegen von Strom- oder Drehzahlinformationen können auch diese in die Bremsansteuerung eingehen und die Ansteuerung der Endstufenschalter beeinflussen.

Die Auswahl der genutzten Endstufenschalter und die Art der Modulation kann von dem Zustand der Endstufenschalter bzw. der Art des aufgetretenen Fehlers abhängig gemacht werden.

Durch gezielte Einprägung von Strömen und Messung von verschiedenen Zustandsgrößen können Informationen über den Zustand des Systems gewonnen werden.

Die Überwachungseinheit kann auch über Fehlererkennungsmechanismen verfügen und kann dann bei sicher erkannten Fehlern die Antriebseinheit selbstständig abbremsen und verriegeln.

Das Verfahren ist vorteilhaft bei sämtlichen elektronisch kommutierten Motoren mit Lagesensorik einsetzbar, unabhängig vom umgesetzten Prinzip der Motorregelung und

daher insbesondere sowohl für polradorientierte, als auch statororientierte Regelung einsetzbar.

So können vorteilhaft auch Fehler erkannt werden, die eine Verstärkung oder Verringerung des Drehmoments zur Folge haben, wie Fehler, die Momentenwelligkeiten am Antriebsmoment hervorrufen. Dies ist vor allem bei Systemen mit einer taktilen Schnittstelle zum Bediener, z. B. elektrische Servolenksysteme oder Steer-by-Wire-Systeme mit Handmomentensteller, von großer Bedeutung.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Abbremsen oder Anhalten eines mit Gleichstrom betreibbaren Elektromotors, insbesondere eines bürstenlosen Gleichstrommotors, bei Vorliegen eines Fehlers des Elektromotors oder damit verbundener Einheiten, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorliegen bestimmter Fehlerzustände überprüft wird, und dass der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise eine dem erkannten, bestimmten Fehlerzustand angepasste Ansteuerung des Elektromotors durchgeführt wird unter Berücksichtigung einer maximalen Belastbarkeit einer mit dem Elektromotor verbundenen elektronischen Ansteuerungseinheit.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass überprüft wird, ob (ein) dem Elektromotor, vorzugsweise ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor mit einer PWM-Regelung, zugeführte(r) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, dass in dem Fall, wenn der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelt wurde(n), der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss stromgeregelt, insbesondere unter Anlegen eines Stromzeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn der/die Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme nicht ermittelbar ist/sind, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest

zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig oder zeitgesteuert erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass überprüft wird, ob eine aktuelle Drehzahl des Elektromotors, vorzugsweise eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors mit einer PWM-Regelung, ermittelbar ist, dass in dem Fall, wenn die aktuelle Drehzahl ermittelt wurde, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig von der aktuellen Drehzahl, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotors, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn die aktuelle Drehzahl des Elektromotors nicht ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass überprüft wird, ob eine Drehzahl des Elektromotors, vorzugsweise eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors mit einer PWM-Regelung, zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelbar ist, dass in dem Fall, wenn die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelt wurde, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers, insbesondere unter Anlegen eines

Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird, und dass in dem Fall, wenn die Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers nicht ermittelbar ist, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von einer Maximaldrehzahl des Elektromotors, insbesondere unter Anlegen eines Spannungszeigers über eine PWM bei einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, erzeugt wird.

5. Elektrischer Antrieb für eine Überlagerungslenkung für ein Kraftfahrzeug oder für eine elektromechanische Bremse (EMB), der einen mit Gleichstrom betreibbaren Elektromotor, insbesondere einen bürstenlosen Gleichstrommotor, eine elektronische Steuer- und Regelungseinheit und eine Leistungselektronikeinheit zur Ansteuerung des Elektromotors aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Steuer- und Regelungseinheit ein Erkennungsmittel aufweist, zum Erkennen eines Fehlers des Elektromotors und/oder einer damit verbundenen elektronischen Einheit, und dass die elektronische Steuer- und Regelungseinheit ein Abbrems- oder Anhaltemittel aufweist, zum Abbremsen des Elektromotors, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde, in dem das Abbrems- und Anhaltemittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen Kurzschluss in Abhängigkeit von dem erkannten, bestimmten Fehlerzustand zu erzeugen unter Berücksichtigung einer maximalen Belastbarkeit der Leistungselektronik.

6. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das Erkennungsmittel eine Ansteuerstromermittlung aufweist, zur Ermittlung des dem Gleichstrommotor zugeführten Ansteuerstroms bzw. der Ansteuerströme, dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn (ein) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das Anhalte- und Ansteuerungsmittel die Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase einen Kurzschluss stromgeregelt in Abhängigkeit von dem(n) ermittelten Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme, insbesondere unter Anlegen eines Stromzeigers über der PWM, zu erzeugen, und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde und wenn kein(e) Ansteuerstrom bzw. Ansteuerströme ermittelbar ist/sind, der Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss drehzahlabhängig in Abhängigkeit von der Gleichstrommotor-Drehzahl oder zeitgesteuert erzeugt wird.
7. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das Erkennungsmittel eine Motordrehzahlermittlung aufweist, zur Ermittlung der aktuellen Drehzahl des



Gleichstrommotors,  
dass der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das  
Anhalte- und Ansteuerungsmittel die  
Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest  
zeitweise in zumindest einer Motorphase einen  
Kurzschluss drehzahlabhängig in Abhängigkeit von der  
aktuellen Drehzahl, insbesondere durch Anlegen eines  
Spannungszeigers über der PWM, zu erzeugen,  
und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel  
ein Fehler erkannt wurde und wenn keine aktuelle  
Motordrehzahl ermittelbar ist, der Elektromotor  
abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in  
zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss  
zeitgesteuert erzeugt wird.

8. Elektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 5 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor ein  
elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist und die  
elektronische Steuer- und Regelungseinheit eine PWM-  
Regelung für den Gleichstrommotor aufweist, dass das  
Erkennungsmittel eine Motordrehzahlermittlung  
aufweist, zur Ermittlung der Drehzahl des  
Gleichstrommotors zum Zeitpunkt des Fehlers,  
dass der Gleichstrommotor abgebremst wird, in dem das  
Anhalte- und Ansteuerungsmittel die  
Leistungselektronik dazu veranlasst, zumindest  
zeitweise in zumindest einer Motorphase einen  
Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der  
Drehzahl zum Zeitpunkt des Fehlers, insbesondere durch  
Anlegen eines Spannungszeigers über der PWM, zu  
erzeugen,  
und dass in dem Fall, wenn durch das Erkennungsmittel  
ein Fehler erkannt wurde und wenn keine Motordrehzahl  
zum Zeitpunkt des Fehlers ermittelbar ist, der

Elektromotor abgebremst wird, in dem zumindest zeitweise in zumindest einer Motorphase ein Kurzschluss zeitgesteuert in Abhängigkeit von der Maximaldrehzahl des Gleichstrommotors erzeugt wird.

9. Elektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich eine elektronische Steuer- und Regelungshilfseinheit vorgesehen ist, die ein Abbrems- oder Anhaltehilfsmittel aufweist, zum Abbremsen des Elektromotors, wenn durch das Erkennungsmittel ein Fehler erkannt wurde, der in der elektronischen Steuer- und Regelungseinheit vorliegt und der eine Ansteuerung der Leistungselektronik durch das Anhalte- und Ansteuerungsmittel nicht sicher gewährleistet.
10. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es Programmschritte aufweist zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

**Zusammenfassung****Verfahren zur Fehlererkennung für Elektromotoren**

Bei einem Verfahren zum Abbremsen oder Anhalten eines mit Gleichstrom betreibbaren Elektromotors, insbesondere eines bürstenlosen Gleichstrommotors, bei Vorliegen eines Fehlers des Elektromotors oder damit verbundener elektronischer oder mechanischer Einheiten, wird das Vorliegen bestimmter Fehlerzustände überprüft, und der Elektromotor wird abgebremst, in dem unter Berücksichtigung einer maximalen Belastbarkeit einer mit dem Elektromotor verbundenen elektronischen Ansteuerungseinheit zumindest zeitweise eine dem erkannten, bestimmten Fehlerzustand angepasste Ansteuerung des Elektromotors durchgeführt wird.

(Fig. 1)